

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-148110

(43)Date of publication of application : 29.05.2001

(51)Int.Cl.

G11B 5/66  
G11B 5/65  
G11B 5/673  
G11B 5/738  
H01F 10/26

(21)Application number : 2000-307398

(71)Applicant : INTERNATL BUSINESS MACH CORP <IBM>

(22)Date of filing : 06.10.2000

(72)Inventor : CAREY MATTHEW JOSEPH  
FULLERTON ERIC EDWARD  
GURNEY BRUCE ALVIN  
ROSEN HAL JERVIS  
SCHABES MANFRED ERNST

(30)Priority

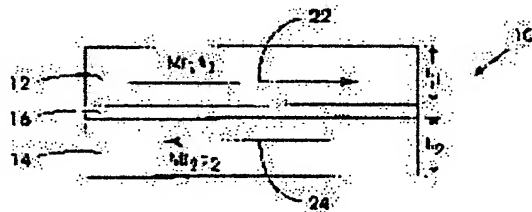
Priority number : 1999 416364 Priority date : 08.10.1999 Priority country : US

## (54) MAGNETIC RECORDING MEDIUM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetic recording medium for keeping good thermal stability and SNR and supporting ultra high-density recording.

SOLUTION: This magnetic recording medium for a data storage device is constituted of at least two magnetic recording layers of ferromagnetic films, which are adhered to each other in an antiferromagnetic manner, while interposing a nonferromagnetic spacer film. Magnetic moment of one ferromagnetic film works in the direction antiparallel to that of the magnetic moment of the other ferromagnetic film. The balanced magnetic moment is shown as the difference between Mrt values of two ferromagnetic films, when the magnetic moment is shown by net product (Mrt) of residual magnetism (Mr) and thickness (t) in the magnetic recording layer. The decrease in Mrt is achieved, while the thermal stability of the recording medium is not deteriorated, because the volume of particles in ferromagnetic films adhered to each other in an antiferromagnetic manner is increased constructively. Very sharp magnetic transitions can be achieved by the reduced antimagnetic field and higher density of the bit lines can be obtained in this medium as a result.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

06.10.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-148110

(P2001-148110A)

(43) 公開日 平成13年5月29日 (2001.5.29)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード\* (参考)

G 1 1 B 5/66

G 1 1 B 5/66

5/65

5/65

5/673

5/673

5/738

5/738

H 0 1 F 10/26

H 0 1 F 10/26

審査請求 有 請求項の数19 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2000-307398 (P2000-307398)

(22) 出願日 平成12年10月6日 (2000.10.6)

(31) 優先権主張番号 09/416364

(32) 優先日 平成11年10月8日 (1999.10.8)

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州  
アーモンク (番地なし)

(74) 代理人 100086243

弁理士 坂口 博 (外2名)

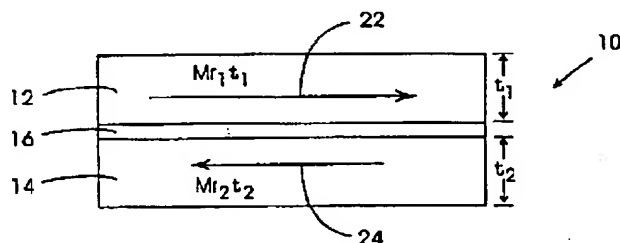
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気記録媒体

(57) 【要約】

【課題】 良好な熱安定性及びSNRを維持する一方で、超高密度記録をサポートする磁気記録媒体を提供すること。

【解決手段】 データ記憶装置の磁気記録媒体が、非強磁性スパーサ膜を介して互いに反強磁性的に結合される少なくとも2つの強磁性膜を有する磁気記録層を使用する。2つの反強磁性的に結合される膜の磁気モーメントが逆平行に向けられ、記録層の残留磁気 ( $M_r$ ) と厚さ ( $t$ ) との正味の積 ( $M_r t$ ) が、2つの強磁性膜の  $M_r t$  値の差となる。 $M_r t$  のこの減少は、記録媒体の熱安定性の低下無しに達成される。なぜなら、反強磁性的に結合される膜内の粒子の体積が、建設的に増加するからである。媒体はまた、低減された反磁場により、大変鋭い磁気遷移の達成を可能にし、それにより媒体のより高度なビット線密度が獲得される。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】基板と、

基板上にあって、第 1 の強磁性膜と、第 1 の強磁性膜上の非強磁性スペーサ膜と、スペーサ膜上の第 2 の強磁性膜とを含み、第 2 の強磁性膜がスペーサ膜を介して第 1 の強磁性膜と反強磁性的に交換結合される磁気記録層とを含む、磁気記録媒体。

【請求項 2】第 2 の強磁性膜上の第 2 の非強磁性スペーサ膜、及び第 2 のスペーサ膜上の第 3 の強磁性膜を含み、第 3 の強磁性膜が第 2 のスペーサ膜を介して第 2 の強磁性膜と反強磁性的に交換結合される、請求項 1 記載の磁気記録媒体。

【請求項 3】第 1 の強磁性膜が厚さ  $t_1$  及び磁化  $M_1$  を有し、第 2 の強磁性膜が厚さ  $t_2$  及び磁化  $M_2$  を有し、第 1 及び第 2 の強磁性膜の単位面積当たりの磁気モーメントそれぞれ ( $M_1 \times t_1$ ) 及び ( $M_2 \times t_2$ ) が互いに異なる、請求項 1 記載の磁気記録媒体。

【請求項 4】第 1 及び第 2 の強磁性膜が同一の材料から形成され、 $t_1$  が  $t_2$  と異なる、請求項 3 記載の磁気記録媒体。

【請求項 5】第 1 及び第 2 の強磁性膜が異なる材料から形成され、 $t_1$  及び  $t_2$  が実質的に同一の厚さである、請求項 3 記載の磁気記録媒体。

【請求項 6】スペーサ膜がルテニウム (Ru)、クロム (Cr)、ロジウム (Rh)、イリジウム (Ir)、銅 (Cu)、及びそれらの合金を含むグループから選択される材料から形成される、請求項 1 記載の磁気記録媒体。

【請求項 7】第 1 及び第 2 の強磁性膜が Co、Fe、Ni、及びそれらの合金から選択される材料から形成される、請求項 1 記載の磁気記録媒体。

【請求項 8】第 1 の強磁性膜が、第 1 の強磁性膜とスペーサ膜との界面に配置されるコバルトから形成される界面膜を含む、請求項 1 記載の磁気記録媒体。

【請求項 9】第 2 の強磁性膜が、第 2 の強磁性膜とスペーサ膜との界面に配置されるコバルトから形成される界面膜を含む、請求項 1 記載の磁気記録媒体。

【請求項 10】基板上にあって、基板と磁気記録層との間に配置される基層を含む、請求項 1 記載の磁気記録媒体。

【請求項 11】磁気記録層上に形成される保護オーバーコートを含む、請求項 1 記載の磁気記録媒体。

## 【請求項 12】基板と、

基板上の基層と、

基層上にあって、第 1 のコバルト合金強磁性膜と、ルテニウム (Ru)、クロム (Cr)、ロジウム (Rh)、イリジウム (Ir)、銅 (Cu)、及びそれらの合金を含むグループから選択される材料から成り、第 1 の強磁性膜上にそれと接触して形成される非強磁性スペーサ膜と、スペーサ膜上にそれと接触して形成される第 2 のコ

バルト合金強磁性膜とを含み、スペーサ膜が第 2 の強磁性膜がスペーサ膜を介して第 1 の強磁性膜と反強磁性的に交換結合するのに十分な厚さを有する磁気記録層と磁気記録層上に形成される保護オーバーコートとを含む、磁気記録ディスク。

【請求項 13】第 1 の強磁性膜が、各々が複数の粒子を含む複数の磁区を有する粒状膜であり、第 2 の強磁性膜が、各々が複数の粒子を含む複数の磁区を有する粒状膜であり、第 2 の強磁性膜内の磁区の磁気モーメントが直接前記スペーサ膜を介して、第 1 の強磁性膜内の関連付けられる磁区の磁気モーメントに逆平行に反強磁性的に結合される、請求項 12 記載の磁気記録ディスク。

【請求項 14】第 2 の強磁性膜上にそれと接触して形成される第 2 の非強磁性スペーサ膜と、第 2 のスペーサ膜上にそれと接触して形成される第 3 の強磁性膜とを含み、第 2 のスペーサ膜の厚さが、第 3 の強磁性膜が第 2 のスペーサ膜を介して第 2 の強磁性膜と反強磁性的に交換結合するのに十分である、請求項 12 記載の磁気記録ディスク。

【請求項 15】第 1 の強磁性膜が厚さ  $t_1$  及び磁化  $M_1$  を有し、第 2 の強磁性膜が厚さ  $t_2$  及び磁化  $M_2$  を有し、第 1 及び第 2 の強磁性膜の単位面積当たりの磁気モーメントそれぞれ ( $M_1 \times t_1$ ) 及び ( $M_2 \times t_2$ ) が互いに異なる、請求項 12 記載の磁気記録ディスク。

【請求項 16】第 1 及び第 2 の強磁性膜が同一の材料から形成され、 $t_1$  が  $t_2$  と異なる、請求項 15 記載の磁気記録ディスク。

【請求項 17】第 1 及び第 2 の強磁性膜が異なる材料から形成され、 $t_1$  及び  $t_2$  が実質的に同一の厚さである、請求項 15 記載の磁気記録ディスク。

【請求項 18】第 1 の強磁性膜が、第 1 の強磁性膜とスペーサ膜との界面に配置されるコバルトから形成される界面膜を含む、請求項 15 記載の磁気記録ディスク。

【請求項 19】第 2 の強磁性膜が、第 2 の強磁性膜とスペーサ膜との界面に配置されるコバルトから形成される界面膜を含む、請求項 15 記載の磁気記録ディスク。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は一般に磁気記録媒体に関し、特に、熱的に安定な高密度媒体に関する。

## 【0002】

【従来の技術】ハード・ディスク・ドライブ内の磁気記録ディスクなどの従来の磁気記録媒体は、一般に、スパッタ付着されたコバルト・プラチナ (CoPt) 合金などの粒状の強磁性層を記録媒体として使用する。磁性層内の各磁区は、多くの小さな磁気粒子から形成される。磁区間の遷移は記録データの“ビット”を表す。IBM の米国特許第 4789598 号及び第 5523173 号は、このタイプの従来の剛性ディスクについて述べている。

【0003】磁気記録ディスクの記憶密度が増加すると、残留磁気 $M_r$ （強磁性材料の単位体積当たりの磁気モーメント）と磁性層の厚さ $t$ との積が減少する。同様に、磁性層の保磁力場（coercive field）または保磁力（ $H_c$ ）が増加する。これは $M_r t / H_c$ の比率の減少につながる。 $M_r t$ の減少を達成するために、磁性層の厚さ $t$ が減少され得るが、これにも限界がある。なぜなら、小さな磁気粒子の熱活性化（超常磁性効果）に起因して、磁性層の磁気崩壊が次第に増すからである。磁気粒子の熱安定性は、大体において $K_u V$ により決定される。ここで $K_u$ は磁性層の磁気異方性定数であり、 $V$ は磁気粒子の体積である。磁性層の厚さが減少すると、 $V$ は減少する。磁性層の厚さが余りに薄いと、通常のディスク・ドライブ動作条件では記憶磁気情報がもはや安定でなくなる。

【0004】この問題の解決のための1つのアプローチは、より高度な異方性材料（高い $K_u$ ）に移行することである。しかしながら、 $K_u$ の増加は、保磁力 $H_c$ （これは $K_u / M_r$ にほぼ等しい）が従来の記録ヘッドにより書込めないほど大きくなるポイントにより制限される。類似のアプローチでは、磁性層の固定の厚みに対して、 $M_r$ を減少するが、これもまた書込まれ得る保磁力により制限される。別の解決策は、粒子間交換を増加することにより、磁気粒子の有効磁気体積 $V$ を増加する。しかしながら、このアプローチは、磁性層の本質的な信号対雑音比（SNR）にとって有害であることが判明している。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】従って、良好な熱安定性及びSNRを維持する一方で、超高密度記録をサポートする磁気記録媒体が待望される。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、磁気記録層が、非強磁性スペーサ膜を介して互いに反強磁性的に結合される少なくとも2つの強磁性膜から形成される。2つの反強磁性的に結合される膜の磁気モーメントが逆平行に向けられ、記録層の残留磁気と厚さとの正味の積（ $M_r t$ ）が、2つの強磁性膜の $M_r t$ 値の差となる。 $M_r t$ のこの減少は、記録媒体の熱安定性の低下無しに達成される。なぜなら、反強磁性的に結合される膜内の粒子の体積が建設的に増加するからである。媒体はまた、低減された反磁場により、大変に鋭い磁気遷移の達成を可能にし、それにより媒体のより高度なビット線密度が獲得される。1実施例では、磁気記録媒体が2つの強磁性膜を含み、各々はスパッタ付着されたCoPtCrB合金の粒状膜であり、2つのCoPtCrB膜間の反強磁性交換結合を最大化する厚さを有するRuスペーサ膜により分離される。強磁性膜の一方は、他方よりも厚く形成されるが、厚さはゼロ印加磁場の下で、正味の磁気モーメントが低く、但しゼロではなく維持される

ように選択される。

#### 【0007】

【発明の実施の形態】本発明の磁気記録媒体は、1つ以上の非強磁性スペーサ膜により、隣接する強磁性膜に反強磁性（AF）的に交換結合される2つ以上の強磁性膜から形成される記録層を有する。これが図1に示され、記録層10は非強磁性のスペーサ膜16により分離される2つの強磁性膜12、14から形成される。非強磁性スペーサ膜16の厚さ及び組成は、隣接する膜12、14の磁気モーメント22、24が、それぞれ非強磁性スペーサ膜16を介してAF結合され、ゼロ印加磁場の下で逆平行になるように選択される。

【0008】非強磁性遷移金属スペーサ膜を介する強磁性膜のAF結合は、文献において広く研究され、また述べられている。一般に、交換結合はスペーサ膜の厚さを増すにつれ、強磁性から反強磁性に振動する。選択された材料の組み合わせにおけるこの振動性結合関係が、Parkinらにより“Oscillations in Exchange Coupling and Magnetoresistance in Metallic Superlattice Structures: Co/Ru, Co/Cr and Fe/Cr”, Phy. Rev. Lett., Vol. 64, p. 2034 (1990) で述べられている。材料組み合わせには、Co、Fe、Ni及びそれらの合金、例えばNi-Fe、Ni-Co及びFe-Coから形成される強磁性膜と、ルテニウム（Ru）、クロム（Cr）、ロジウム（Rh）、イリジウム（Ir）、銅（Cu）、及びそれらの合金などの非強磁性スペーサ膜とが含まれる。各こうした材料組み合わせに対して、振動性交換結合関係が知れていない場合、それが決定されなければならない。従って、非強磁性スペーサ膜の厚さが2つの強磁性膜間の反強磁性結合を保証するように選択される。振動の周期は非強磁性スペーサ材料に依存するが、振動性結合の強度及び位相は、強磁性材料及び界面の良質性に依存する。強磁性膜の振動性反強磁性結合は、スピバルブ・タイプの巨大磁気抵抗（GMR）記録ヘッドにおいて、連続的に磁化される反強磁性結合膜を設計するために使用され、それらの磁気モーメントは、ヘッドの動作中に強固に逆平行に結合される。これらのタイプのスピバルブ構造については、例えばIBMの米国特許第5408377号及び第5465185号で述べられている。米国特許第5465185号は、多くの市販のスピバルブGMRヘッドで使用される構造、すなわち磁気モーメントがヘッドの動作中に強固に結合されて、静的に維持される強磁性膜を有する積層逆平行ピン止め強磁性層について述べている。

【0009】膜12、14は、それぞれ磁気モーメント値 $M_{r1}t_1$ 及び $M_{r2}t_2$ を有する。（残留磁気 $M_r$ は、強磁性材料の単位体積当たりの磁気モーメントとして表される。積 $M_r t$ は、厚さ $t$ の磁性層の単位面積当たりの磁気モーメントである。）このAF結合構造において、隣接する膜12、14の磁気モーメント22、24

のそれぞれの方向は逆平行に整列され、従って破壊的に増加して、複合層 10 の磁気モーメントを低減する。矢印 22、24 は、AF 結合膜 16 を介して、互いに直接上下に配置される個々の磁区の磁気モーメント方向を表す。印加磁場が不在の下で、強磁性膜 14 が媒体基板上に付着されるとき、それは粒状構造を有し、複数の隣接粒子と一緒に結合されて単一の磁区を形成する。印加磁場が存在する場合、強磁性膜 14 内のこれらの磁区の磁気モーメントは、本質的にランダムに向けられる。次に、スペーサ膜または AF 結合膜 16 が、強磁性膜 14 の真上に正確な厚さで付着される。次に、第 2 の強磁性膜 12 が、AF 結合膜 16 の真上に付着される。強磁性膜 12 の粒子が成長するとき、それらは磁区を形成し、それらの磁気モーメントは、AF 結合膜 16 の反対側の強磁性膜 14 の磁気モーメントと逆平行である。

【0010】強磁性材料のタイプ及び強磁性膜 12、14 の厚さ  $t_1$ 、 $t_2$  は、ゼロ印加磁場の下で、正味の磁気モーメントが低く、但し非ゼロに維持されるように選択される。図 1 に示されるケースでは、構造の  $Mrt$  は  $Mr_1t_1 - Mr_2t_2$  により与えられる。好適な実施例では、 $Mr_1t_1$  は  $Mr_2t_2$  よりも大きくあるべきである。これは 2 つの膜 12、14 として同一の強磁性材料を使用し、 $t_1$  を  $t_2$  よりも大きくすることにより、或いは 2 つの膜として異なる強磁性材料を使用し、2 つの強磁性膜の磁化（材料の単位体積当たりの磁気モーメント）を異ならせることにより達成される。図 1 は単一のスペーサ膜 16 を有する 2 膜構造を示すが、本発明は複数のスペーサ膜及び複数の強磁性膜を有する構造に拡張され得る。

【0011】本発明は、強磁性材料の単一層として形成される磁性層に勝る多数の利点を有する。超薄型の磁性層または低磁化合金を使用することなく、低残留磁気を獲得され得る。これは前述の熱不安定性及び書き込みの困難さの問題を回避する。例えば、図 1 の磁性層を膜 12 だけから形成される単層と比較するとき、AF 結合強磁性膜 14 の追加は、膜 12 の厚さ及び磁化のいずれも低減することなく、複合構造の正味の磁気モーメントを低減する。

【0012】単一の磁性層と比較して、複合構造の改善された熱安定性が得られる。なぜなら、両方の膜 12 及び 14 内の粒子の異方性が実質的に単軸であり、従って、たとえ膜 12、14 の磁気モーメントが逆平行であっても、建設的に増加するからである。結合系の結果的な安定性パラメータ  $K_uV$  は、 $K_{u1}V_1 < K_uV < (K_{u1}V_1 + K_{u2}V_2)$  により与えられる。ここで  $K_{u1}V_1$  及び  $K_{u2}V_2$  は、それぞれ膜 12、14 内の典型的な粒子の異方性エネルギーである。複合安定性パラメータ  $K_uV = K_{u1}V_1 + K_{u2}V_2$  の上限は、膜 12 及び 14 内の磁気粒子が強く結合されて、共通の異方性軸方向を共有するときに達成される。熱安定性を決定する複合構造（層 1

0）の磁気体積  $V$  は、膜 12 及び 14 内で交換結合される粒子の体積の和にほぼ等しく、層 10 の磁気モーメントは、膜 12、14 の個々の磁気モーメントの差である。2 つの強磁性膜間の反強磁性結合は、複合構造の正味の  $Mrt$  値を低減する一方で、有効な膜の厚さを増加する機構を提供する。このように、強磁性膜は非常に小径の粒子を含み、熱安定性を維持する。

【0013】磁気遷移が記録または書込まれる本発明に従う AF 結合媒体が、図 2 に概略的に示される。プラス（+）及びマイナス（-）記号は、遷移から生じる磁極を表す。AF 結合媒体の表面上 10 nm の地点の計算された水平磁場（ $H_x$ ）が、図 3 において X 方向の、すなわち遷移からのダウントラック位置の関数として示される。2 つの膜 12、14 の磁気モーメント及び厚さ値、並びに AF 結合層の  $Mrt$  の計算結果が、図 3 に示される。比較のために、図 3 はまた、類似の  $Mrt$  を有する単層（SL）媒体内の遷移から生じる水平磁場のモデル計算を示す。ここで厚さ値（ $t_1$  及び  $t_2$ ）は、AF 結合媒体におけるピーク水平磁場が、SL 媒体と比較して同一になるように選択される。AF 結合媒体内の強磁性材料の合計の厚さは、2.7 倍の厚さを有する。従って、AF 結合媒体は SL 媒体よりも熱的に安定であるはずである。ダウントラック方向の水平磁場プロファイルは、AF 結合媒体ではより速く減衰し、結果的に鋭い遷移となる。これは SL 媒体の場合よりも、遷移がより近い間隔で獲得されることを示し、従って媒体の高いビット線密度を可能にする。図 3 では示されていないが、計算結果はまた、AF 結合媒体内の遷移からの反磁場が、SL 媒体内でより速く減少することを示した。更に、反磁場の大きさ及び符号は、媒体内の Y 位置（図 3 参照）に依存する。従って、媒体内の特定の Y 位置において反磁場がゼロに減少する。ここで小さな反磁場は望ましい。なぜなら、それらは他の遷移に影響して、遷移自体を消磁するからである。

【0014】本発明は強磁性膜として、従来の CoPtCrB 水平記録媒体合金を用いて立証された。そのサンプル構造が図 4 に示される。この構造は、従来のスパッタ付着装置及びプロセスを用いて形成された。構造を形成する膜は、ニッケルリン（NiP）表面被覆を有する AlMg ディスク・ブランクの基板上に付着される Cr 基層上に、約 200℃ の基板温度において成長された。強磁性膜は CoPtCrB であり、図 1 の膜 12 に対応する頂部膜（12 nm）は、図 1 の膜 14 に対応する底部強磁性膜（7 nm）よりも厚い。非強磁性スペーサ膜は、0.6 nm の Ru 膜である。単層媒体同様、媒体雑音を低減するために、孤立磁気粒子を有する粒状強磁性材料を使用することが有利である。Ru 膜の厚さは、振動性結合関係における第 1 の反強磁性ピークに相当するように選択された。この例では、各 CoPtCrB 強磁性膜が、Ru 膜との界面において、本質的に 0.

5 nm の Co から形成される界面膜を含む。これらの超薄型 Co 膜は、強磁性膜と Ru 膜間の界面モーメントを増加させ、改善された反強磁性結合を生成する。しかしながら、反強磁性交換結合は、CoPtCrB 強磁性膜内に Co 界面膜を組み込むことなく、立証された。

【0015】図 5 は、図 4 の構造において、 $T = 350$  K で測定された主ヒステリシス・ループ（実線）及び残留ヒステリシス・ループ（破線）を示す。最初に残留ヒステリシス・ループを参照すると、これは最初に AF 結合層を正磁場内で飽和させ、次に徐々に増加する逆の負磁場を印加し、負の磁場が印加された後に、層内の残留モーメントを測定することにより獲得される。残留ループは、残留モーメント対逆方向磁場の大きさのプロットである。このサンプルでは、残留ループは室温において、 $M_r t = 0.21$ 、残留保磁力場  $H_{cr} = 3.2$  kOe、及び  $S' = 0.92$  を示す。ここで  $S'$  は  $H_{cr}$  における残留ループの傾きの測定である。それにひきかえ、同一の CoPtCrB 合金の同様に成長された 15 nm の単層は、室温において  $M_r t = 0.38$ 、 $H_{cr} = 2.4$  kOe、及び  $S' = 0.76$  の特性を有する。従って、AF 結合媒体は磁性層の大きな合計の厚さにより、極めて低い  $M_r t$  の達成を可能にする。

【0016】次に図 5 の主ヒステリシス・ループを参照すると、水平矢印の対は、ヒステリシス・ループ内の異なるポイントにおける、AF 結合層内の強磁性膜の方向を示す。印加磁場は正方向に増加される（矢印 30、32）。大きな印加磁場（ $> 3000$  Oe）では、反強磁性結合は克服されて、2つの強磁性膜の磁気モーメントは両方とも印加磁場に平行である（矢印 42、44）。印加磁場が低下すると（矢印 34）、より薄い底部強磁性膜の磁気モーメントが反転して、厚い頂部強磁性膜の磁気モーメント及び印加磁場に逆平行となり（矢印 52、54）、正味の磁気モーメントが低下する。このスイッチは大ざっぱに言って、Ru 膜を介する結合に起因して、底部膜により感じ取られる交換場（ $H_{ex2} = 2000$  Oe）において発生する。 $H_{ex2}$  の値は  $H_{ex2} = J_{ex}/M_2 t_2$  であり、ここで  $J_{ex}$  は Ru スペーサ層を介する反強磁性界面結合エネルギー密度であり、 $M_2$  及び  $t_2$  は、それぞれ底部強磁性膜の磁化及び厚さである。強磁性膜の逆平行アライメントの実現のために、 $H_{ex2}$  が底部強磁性膜を反転するために要求される保磁力場（ $H_c2$ ）を超えることが要求される。ここで  $H_c2$  は、頂部強磁性膜との交換相互作用が存在しないと仮定すると、底部膜の保磁力場である。従って、底部膜、並びに AF 結合膜の磁気特性及び厚さは、 $H_{ex2} > H_c2$  を維持するように設計されなければならない。

【0017】正磁場内での飽和後の残留状態は、磁場方向に平行な頂部強磁性膜の磁気モーメント（矢印 52）と、正磁場方向に逆平行の底部強磁性膜の磁気モーメント（矢印 54）とにより与えられる。逆印加磁場（矢印

36）では、頂部強磁性膜の磁気モーメントが反転して、両方の膜の磁気モーメントが平行になり、負の飽和状態に整列されるまで（矢印 62、64）、磁気状態は安定である。頂部強磁性膜の磁気モーメントのスイッチングは、AF 結合層の保磁力場を決定し、 $H_c = H_{ex1} + H_{c1}$  により与えられる。ここで  $H_{ex1}$  は頂部強磁性膜に作用する交換場であり（ $H_{ex1} = J_{ex}/M_1 t_1$ ）、 $H_{c1}$  は底部強磁性膜との相互作用が存在しないと仮定する場合、頂部強磁性膜の保磁力場である。従って、頂部強磁性膜及び AF 結合膜の特性は、複合構造の  $H_c$  をヘッドの期待書き込み磁場以下に維持するように設計されなければならない。この例では、1つの残留状態（矢印 52、54）から次の残留状態（矢印 72、74）へ至る経路が、2つの膜の磁気モーメント（矢印 62、64）が平行となる中間状態を通過する。従って、スピンバルブ GMR 記録ヘッドで使用される AF 結合構造とは対照的に、本発明に従う媒体内の強磁性膜の磁気モーメントは、AF 結合膜を介して強固に結合されない。なぜなら、媒体上への書き込みのために、結合が克服されなければならないからである。図 5 のヒステリシス・ループは、AF 結合層の所望の特徴、すなわち飽和磁化に相対的な低残留磁気を表す。

【0018】従来の水平記録ヘッドを用いて、AF 結合層の記録性能テストを実施した。信号対雑音比測定の結果、1 mm 当たり 9500 磁束変化（fc/mm）において、31.9 dB の媒体  $S_0NR$  が判明した。ここで  $S_0$  は孤立パルス振幅であり、 $N$  は 9500 fc/mm 記録密度における総合媒体雑音である。これらの結果は、データ記憶装置としての AF 結合磁性層の実現可能性を立証する。

【0019】本発明に従う AF 結合媒体はまた、片側または両側に Co 界面膜を有する、或いは CoCr 界面膜を有する、及び CoCrPtTa 強磁性層を有する構造としても立証された。

【0020】まとめとして、本発明の構成に関して以下の事項を開示する。

【0021】（1）基板と、基板上にあって、第 1 の強磁性膜と、第 1 の強磁性膜上の非強磁性スペーサ膜と、スペーサ膜上の第 2 の強磁性膜とを含み、第 2 の強磁性膜がスペーサ膜を介して第 1 の強磁性膜と反強磁性的に交換結合される磁気記録層とを含む、磁気記録媒体。

（2）第 2 の強磁性膜上の第 2 の非強磁性スペーサ膜、及び第 2 のスペーサ膜上の第 3 の強磁性膜を含み、第 3 の強磁性膜が第 2 のスペーサ膜を介して第 2 の強磁性膜と反強磁性的に交換結合される、前記（1）記載の磁気記録媒体。

（3）第 1 の強磁性膜が厚さ  $t_1$  及び磁化  $M_1$  を有し、第 2 の強磁性膜が厚さ  $t_2$  及び磁化  $M_2$  を有し、第 1 及び第 2 の強磁性膜の単位面積当たりの磁気モーメントそれぞれ（ $M_1 \times t_1$ ）及び（ $M_2 \times t_2$ ）が互いに異な



る、前記(1)記載の磁気記録媒体。

(4) 第1及び第2の強磁性膜が同一の材料から形成され、 $t_1$ が $t_2$ と異なる、前記(3)記載の磁気記録媒体。

(5) 第1及び第2の強磁性膜が異なる材料から形成され、 $t_1$ 及び $t_2$ が実質的に同一の厚さである、前記(3)記載の磁気記録媒体。

(6) スペーサ膜がルテニウム(Ru)、クロム(Cr)、ロジウム(Rh)、イリジウム(Ir)、銅(Cu)、及びそれらの合金を含むグループから選択される材料から形成される、前記(1)記載の磁気記録媒体。

(7) 第1及び第2の強磁性膜がCo、Fe、Ni、及びそれらの合金から選択される材料から形成される、前記(1)記載の磁気記録媒体。

(8) 第1の強磁性膜が、第1の強磁性膜とスペーサ膜との界面に配置されるコバルトから形成される界面膜を含む、前記(1)記載の磁気記録媒体。

(9) 第2の強磁性膜が、第2の強磁性膜とスペーサ膜との界面に配置されるコバルトから形成される界面膜を含む、前記(1)記載の磁気記録媒体。

(10) 基板上にあって、基板と磁気記録層との間に配置される基層を含む、前記(1)記載の磁気記録媒体。

(11) 磁気記録層上に形成される保護オーバコートを含む、前記(1)記載の磁気記録媒体。

(12) 基板と、基板上の基層と、基層上にあって、第1のコバルト合金強磁性膜と、ルテニウム(Ru)、クロム(Cr)、ロジウム(Rh)、イリジウム(Ir)、銅(Cu)、及びそれらの合金を含むグループから選択される材料から成り、第1の強磁性膜上にそれと接触して形成される非強磁性スペーサ膜と、スペーサ膜上にそれと接触して形成される第2のコバルト合金強磁性膜とを含み、スペーサ膜が第2の強磁性膜がスペーサ膜を介して第1の強磁性膜と反強磁性的に交換結合するのに十分な厚さを有する磁気記録層と磁気記録層上に形成される保護オーバコートとを含む、磁気記録ディスク。

(13) 第1の強磁性膜が、各々が複数の粒子を含む複数の磁区を有する粒状膜であり、第2の強磁性膜が、各々が複数の粒子を含む複数の磁区を有する粒状膜であり、第2の強磁性膜内の磁区の磁気モーメントが直接前記スペーサ膜を介して、第1の強磁性膜内の関連付けられる磁区の磁気モーメントに逆平行に反強磁性的に結合

される、前記(12)記載の磁気記録ディスク。

(14) 第2の強磁性膜上にそれと接触して形成される第2の非強磁性スペーサ膜と、第2のスペーサ膜上にそれと接触して形成される第3の強磁性膜とを含み、第2のスペーサ膜の厚さが、第3の強磁性膜が第2のスペーサ膜を介して第2の強磁性膜と反強磁性的に交換結合するのに十分である、前記(12)記載の磁気記録ディスク。

(15) 第1の強磁性膜が厚さ $t_1$ 及び磁化 $M_1$ を有し、第2の強磁性膜が厚さ $t_2$ 及び磁化 $M_2$ を有し、第1及び第2の強磁性膜の単位面積当たりの磁気モーメントそれぞれ( $M_1 \times t_1$ )及び( $M_2 \times t_2$ )が互いに異なる、前記(12)記載の磁気記録ディスク。

(16) 第1及び第2の強磁性膜が同一の材料から形成され、 $t_1$ が $t_2$ と異なる、前記(15)記載の磁気記録ディスク。

(17) 第1及び第2の強磁性膜が異なる材料から形成され、 $t_1$ 及び $t_2$ が実質的に同一の厚さである、前記(15)記載の磁気記録ディスク。

(18) 第1の強磁性膜が、第1の強磁性膜とスペーサ膜との界面に配置されるコバルトから形成される界面膜を含む、前記(15)記載の磁気記録ディスク。

(19) 第2の強磁性膜が、第2の強磁性膜とスペーサ膜との界面に配置されるコバルトから形成される界面膜を含む、前記(15)記載の磁気記録ディスク。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に従い記録媒体内で反強磁性的(AF)に結合される磁気記録層の断面図である。

【図2】記録磁気遷移における強磁性膜の磁気モーメントの方向を示す、AF結合層の概略図である。

【図3】AF結合層及び単層(SL)媒体上の磁場の計算結果を、遷移からのダウントラック位置の関数として示すグラフである。

【図4】基板、下層、AF結合層内の膜、及び保護オーバコートを含む、本発明のディスク構造の断面図である。

【図5】図4のAF結合層を有する構造の磁気ヒステリシス・ループを示す図である。

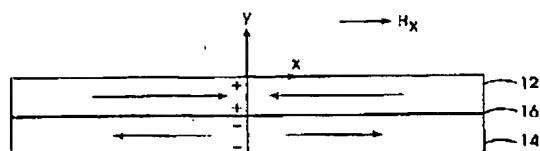
#### 【符号の説明】

12、14 強磁性膜

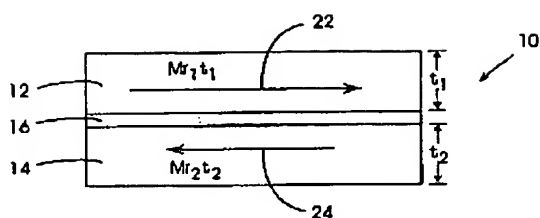
16 非強磁性スペーサ膜

22、24 磁気モーメント

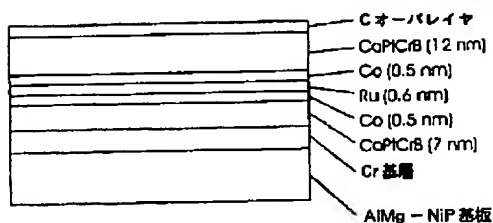
【図2】



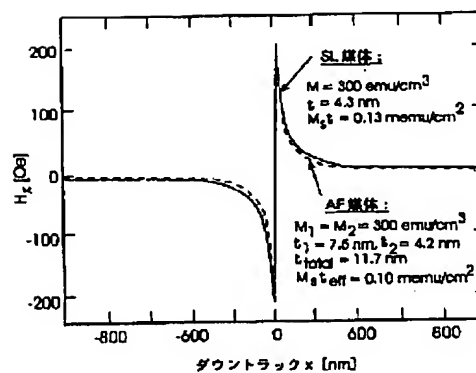
【図1】



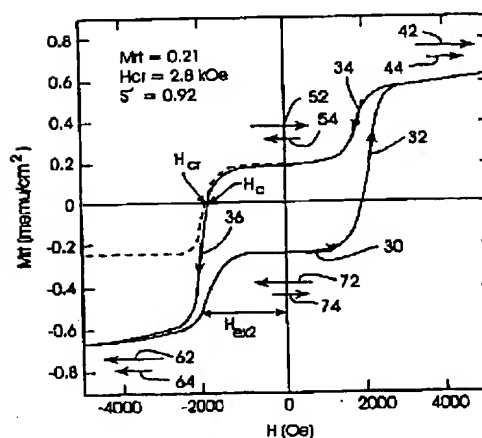
【図4】



【図3】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 マシュー・ジョセフ・キャリー  
 アメリカ合衆国95132、カリフォルニア州  
 サン・ノゼ、ザ・ウッズ・ドライブ  
 3970、ナンバー 1319

(72)発明者 エリック・エドワード・フラートン  
 アメリカ合衆国95037、カリフォルニア州  
 モーガン・ヒル、クワイル・コート  
 17212

(72)発明者 ブルース・アルビン・ガーニー  
 アメリカ合衆国94901、カリフォルニア州  
 サン・ラフィール、オークモント・アベニ  
 ュー 85

(72)発明者 ハル・ジャービス・ローゼン  
 アメリカ合衆国95032、カリフォルニア州  
 ロス・ガトス、バイン・アベニュー  
 17131

(72)発明者 マンフレッド・エルンスト・スカベス  
 アメリカ合衆国95131、カリフォルニア州  
 サン・ノゼ、バーチメドー・コート 1508